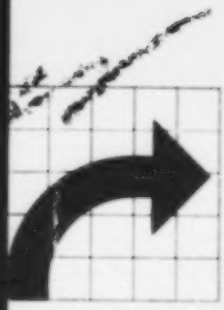
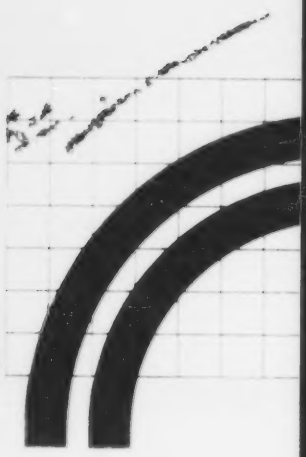
ÉTUDES ET
RECHERCHES
EN TRANSPORTS



# LA CONSTRUCTION ET LA REMISE EN ÉTAT DES ROUTES À FAIBLE TRAFIC

PIERRE DE MONTIGNY



TECHNOLOGIE
ET INSTRUMENTATION

Québec

88-03976/

# LA CONSTRUCTION ET LA REMISE EN ÉTAT DES ROUTES À FAIBLE TRAFIC

Dépôt légal, 2e trimestre 1987
Bibliothèque nationale du Québec
ISBN : 2-550-17673-1

Gouvernement du Québec
**Ministère des Transports**

# FICHE ANALYTIQUE DE RAPPORT

**Titre et sous-titre du rapport**
La construction et la remise en état des routes à faible trafic

**N° du rapport Transports Québec**
RTQ-87-07

Rapport d'étape ☐ Rapport final ☒

**N° du contrat**

**Auteur(s) du rapport**
Pierre De Montigny

**Date du début d'étude** — **Date de fin d'étude**

**Coût de l'étude**

**Étude ou recherche réalisée par (nom et adresse de l'organisme)**
Service des sols et chaussées
200, Dorchester Sud
4ième étage
Québec QC
G1K 5Z1

**Étude ou recherche financée par (nom et adresse de l'organisme)**
Ministère des Transports du Québec
700, boul. Saint-Cyrille Est
Québec QC
G1R 5H1

**But de l'étude, recherche et renseignements supplémentaires**
Proposer aux concepteurs de projets routiers des méthodes concernant la construction et la remise en état des routes à faible trafic, en leur fournissant les données de base touchant la préparation de l'infrastructure, la détermination des épaisseurs des couches granulaires et la fabrication du revêtement.

**Résumé du rapport**

La première partie du document expose, à partir de quelques notions fondamentales de géotechnique routière, les principes qui doivent gouverner la conception des chaussées. Elle propose en outre une méthode simple du calcul des épaisseurs en regard du trafic et du sol de support. Enfin, cette première partie décrit la marche à suivre dans l'étude d'une chaussée en vue de sa réhabilitation.

La seconde partie du document traite des revêtements et, en l'occurence, des revêtements à froid. Le rapport traite principalement de ceux qui ont eu une certaine faveur auprès du ministère des Transports dans le passé, à savoir: le traitement de surface (simple ou double), l'enrobé à l'émulsion et l'enrobé au bitume moussé. Il se termine par une évaluation comparative des revêtements à froid et des revêtements à chaud, faisant ressortir les avantages et les inconvénients de chacun.

| Nbre de pages | Nbre de photos | Nbre de figures | Nbre de tableaux | Nbre de références bibliographiques | Langue du document | Autre (spécifier) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 49 | ---- | 9 | 2 | 12 | ☒ Français ☐ Anglais | |

**Mots-clés**
Distribution des contraintes, trafic, préparation de l'infrastructure, épaisseurs des couches, réhabilitations, traitement de surface, enrobé à l'émulsion, enrobé au bitume moussé, revêtement à froid, revêtement à chaud.

**Autorisation de diffusion**
☒ Diffusion autorisée ☐ Diffusion interdite

Signature du directeur général

Date: 20 05 87

V-1773 (85-05)

## AVANT-PROPOS

La publication de cet ouvrage me donne l'occasion d'exprimer ma reconnaissance à ceux qui, d'une façon ou d'une autre, ont contribué à sa réalisation. Ce sont d'abord ces ingénieurs et techniciens qui, animés du désir de mieux comprendre divers aspects de leurs tâches quotidiennes et de jouer un rôle plus positif au ministère des Transports, l'ont cru utile pour eux-mêmes, pour leurs collègues ou pour les membres du personnel. Ce sont aussi les autorités du Ministère et principalement monsieur Yvan Demers, directeur général du Génie, qui a eu le mérite de déceler l'utilité d'un tel document et qui a suscité la mise sur pied d'un comité pour en assurer la réalisation.

Des remerciements sincères vont aussi aux membres de ce comité qui, par leurs conseils et leurs suggestions concernant aussi bien les idées de fond que l'aspect strictement rédactionnel du document m'ont si admirablement secondé. Leur longue expérience dans divers aspects du génie routier m'a été d'un grand secours en plusieurs occasions. Ils sont:

René Robitaille, chef de division au Service de l'assurance de la qualité;

Guy Carbonneau, chef du Service des projets;

Jean-Guy Paquin, chef du Service aérien;

Yvan Lavoie, chef du Service des opérations territoriales est;

Bernard Caron, Service des opérations territoriales est;

Richard Langlois, chef de division au Service du laboratoire central.

Je profite enfin de l'occasion pour remercier très chaleureusement le personnel de la Division des structures de chaussées pour le support qu'il ne cesse de m'accorder en tout temps. On me permettra une mention spéciale à l'intention des professionnels, qui m'ont souvent donné la preuve qu'ils pouvaient prendre toutes leurs responsabilités de façon efficace.

Après un tel effort collectif, il est normal d'espérer que cette publication favorise auprès des concepteurs, des chargés de projets et des surveillants de travaux une meilleure prise en compte des facteurs qui conditionnent la performance des chaussées et qu'il contribue ainsi à un meilleur rendement des investissements qui sont consacrés chaque année à la construction et à l'entretien du réseau routier.

Pierre de Montigny, ing.

# TABLE DES MATIÈRES


| | PAGE |
|---|---|
| 1. INTRODUCTION | 1 |
| 2. ÉLÉMENTS DE DIMENSIONNEMENT STRUCTURAL | 3 |
| 2.1 Généralités | 3 |
| 2.2 Répartition des contraintes dans une chaussée | 3 |
| 2.3 Recherche de la structure appropriée | 8 |
| 2.4 Structure retenue | 10 |
| 2.4.1 Routes non revêtues | 10 |
| 2.4.2 Routes revêtues | 13 |
| 2.4.3 Réhabilitation | 13 |
| 2.4.4 Réhabilitation Vs Reconstruction | 15 |
| 3. LES REVÊTEMENTS | 18 |
| 3.1 Doit-on paver? | 18 |
| 3.2 Revêtements à froid (généralités) | 19 |
| 4. LE TRAITEMENT DE SURFACE | 20 |
| 4.1 Définition | 20 |
| 4.2 Modes d'emploi | 22 |
| 4.2.1 Traitement simple | 22 |
| 4.2.2 Traitement double | 23 |
| 5 L'ENROBÉ À L'ÉMULSION | 24 |
| 5.1 Analogies avec l'enrobé à chaud | 24 |
| 5.2 Fabrication de l'enrobé à l'émulsion | 27 |
| 5.2.1 Formule de mélange | 27 |
| 5.2.2 Malaxage | 28 |

## TABLE DES MATIÈRES (SUITE)


| | PAGE |
|---|---|
| 6. L'ENROBÉ AU BITUME MOUSSÉ | 31 |
| 6.1 Historique | 31 |
| 6.2 Fabrication | 32 |
| 6.3 Pose du revêtement | 33 |
| 7. AUTRES REVÊTEMENTS À FROID | 34 |
| 7.1 Les enrobés ouverts | 34 |
| 7.2 Les traitements de surface au gravier | 34 |
| 7.3 Les bitumacadams | 35 |
| 7.4 Le coulis de scellement | 35 |
| 7.5 L'enduit à l'émulsion (fog seal) | 35 |
| 8. ÉVALUATION DES REVÊTEMENTS À FROID | 37 |
| 8.1 Les avantages | 37 |
| 8.2 Les inconvénients | 38 |
| 9. EXIGENCES | 39 |
| 10. SOMMAIRE ET CONCLUSIONS | 40 |
| Références bibliographiques | 45 |
| Annexe | |

## 1. INTRODUCTION

La méthode québécoise de conception des chaussées flexibles a consisté jusqu'à maintenant, pour une large part, à choisir parmi cinq ou six sections-types, celle qui convenait le mieux à un sol de support et à une classe de route donnés. Cette technique, simple et pratique dans le cas des routes principales où sont utilisés des matériaux conformes à des normes strictes et connues à l'avance, présente néanmoins des lacunes lorsqu'on l'applique aux routes à faible trafic. En effet, elle laisse croire que le paramètre trafic n'a que peu d'influence sur la structure à adopter puisque, pour une même classe de route, les épaisseurs demeurent constantes. D'autre part, la méthode ne donne aucune information sur la façon de tirer profit de certains matériaux locaux qui, bien que non conformes aux exigences du Cahier des charges, peuvent souvent posséder des propriétés structurales bien supérieures à celles de l'infrastructure et mériter de ce fait une évaluation de leur aptitude à accroître la portance de l'infrastructure et à permettre ainsi une diminution des épaisseurs de chaussées.

Les techniques de conception adoptées par plusieurs administrations routières hors du Québec, ont pu, dans certains cas, conduire à des chaussées plus minces et moins chères que les nôtres. Elles n'ont pas pour autant permis à leurs promoteurs d'envisager, avec les budgets dont ils disposaient, une remise en état satisfaisante de leurs réseaux secondaire et tertiaire.

Cette incapacité de hausser la qualité moyenne du réseau routier à un niveau qui satisfasse certaines normes minimales n'est donc pas particulière au Québec. Au contraire, elle est propre à presque

tous les pays industrialisés. Ceux-ci, individuellement d'abord, y sont allés de leurs expérimentations et de leurs études afin de trouver une solution au problème qui les confrontait. Très tôt cependant, il leur a semblé qu'une mise en commun des connaissances ainsi acquises s'avérait nécessaire. Leurs attentes ont finalement été comblées par la tenue de réunions techniques et de congrès dans plusieurs pays, surtout aux États-Unis.

Le ministère des Transports a voulu lui aussi faire le point sur ses propres expériences, tirer ses conclusions des progrès accomplis au Québec et ailleurs et indiquer une orientation qui puisse guider les concepteurs de projets au cours des prochaines années. Le présent document constitue un premier jalon dans cette direction. Il comprend deux parties:

- la première partie décrit les caractéristiques structurales des couches granulaires qui composent une chaussée et indique de façon très sommaire comment on peut prévoir leurs épaisseurs dans diverses circonstances

- la deuxième partie concerne le revêtement. On verra que ce dernier n'est pas toujours justifié sur une route à faible trafic et qu'avant d'y avoir recours, il convient d'explorer la possibilité d'utiliser un mélange fabriqué à froid.

## 2. ÉLÉMENTS DE DIMENSIONNEMENT STRUCTURAL

### 2.1 Généralités

Les routes visées par le présent document sont nombreuses et couvrent un large éventail de terrains, de conditions environnementales et même de trafic. Les matériaux employés varient considérablement eux aussi puisque, dans le cas des routes principales particulièrement, les facteurs économiques forcent les maîtres d'oeuvres à privilégier les matériaux qui sont situés à proximité des travaux. Dans de telles circonstances, on comprend que pour choisir judicieusement entre plusieurs matériaux de qualité et de prix différents, il faut d'abord les évaluer au moyen d'essais adaptés aux buts recherchés et ensuite analyser les résultats obtenus à la lumière des caractéristiques qui paraissent les plus importantes dans les conditions où ils sont employés (niveau de la chaussée, environnement, drainage, etc.).

Étant donné cependant qu'il n'est pas toujours possible au cours de la préparation d'un projet, de s'appuyer sur un nombre suffisant d'essais ni même de compter sur les conseils d'experts, il devient presque nécessaire de posséder soi-même quelques notions de dimensionnement structural afin de mieux saisir la nature des problèmes auxquels on est confronté et ainsi pouvoir apporter à ces problèmes des solutions mieux appropriées.

### 2.2 Répartition des contraintes dans une chaussée

Il est démontré que dans les chaussées constituées de gravier et de sable reposant sur une infrastructure plus faible que le sable,

la répartition des contraintes verticales à divers niveaux de la chaussée est à peu près celle indiquée aux courbes 1 et 2 de la figure 1. Un bref examen de ces courbes nous permet de formuler les commentaires suivants:

2.2.1 Même sous une roue double de camion imposant à la chaussée la charge maximale permise en période de dégel (4000 kg), les contraintes verticales diminuent très rapidement jusqu'à une profondeur de 15 ou 20 cm. À 30 cm, elles représentent environ 17% de celles qui prévalent en surface.

2.2.2 Lorsque l'on dit d'une route qu'elle n'a pas une capacité de support suffisante, cela signifie que sa surface ploie trop sous le passage de poids lourds et qu'il s'ensuit, à plus ou moins brève échéance, une fissuration du pavage par fatigue. Cela signifie aussi qu'au passage de chaque poids lourd, il se produit un certain fluage horizontal qui, à la longue, tend à donner naissance au phénomène d'orniérage. Ce fluage peut survenir, soit au niveau de l'infrastructure, soit à celui de n'importe quelle couche de la chaussée. Il aura toutefois tendance à se produire davantage là où les contraintes sont fortes par rapport à la résistance du matériau qui s'y trouve.

Il paraît donc peu utile d'avoir recours à des matériaux forts en profondeur, là où les contraintes sont faibles. D'un autre côté, il pourrait s'avérer désastreux de placer un matériau faible à proximité de la surface, là où les contraintes sont élevées. Pour cette raison, le recours aux équivalences structurales de façon purement mécanique, sans égard aux épaisseurs des couches et aux niveaux que celles-ci occupent dans le corps de la chaussée, peut comporter une bonne part d'imprécision.

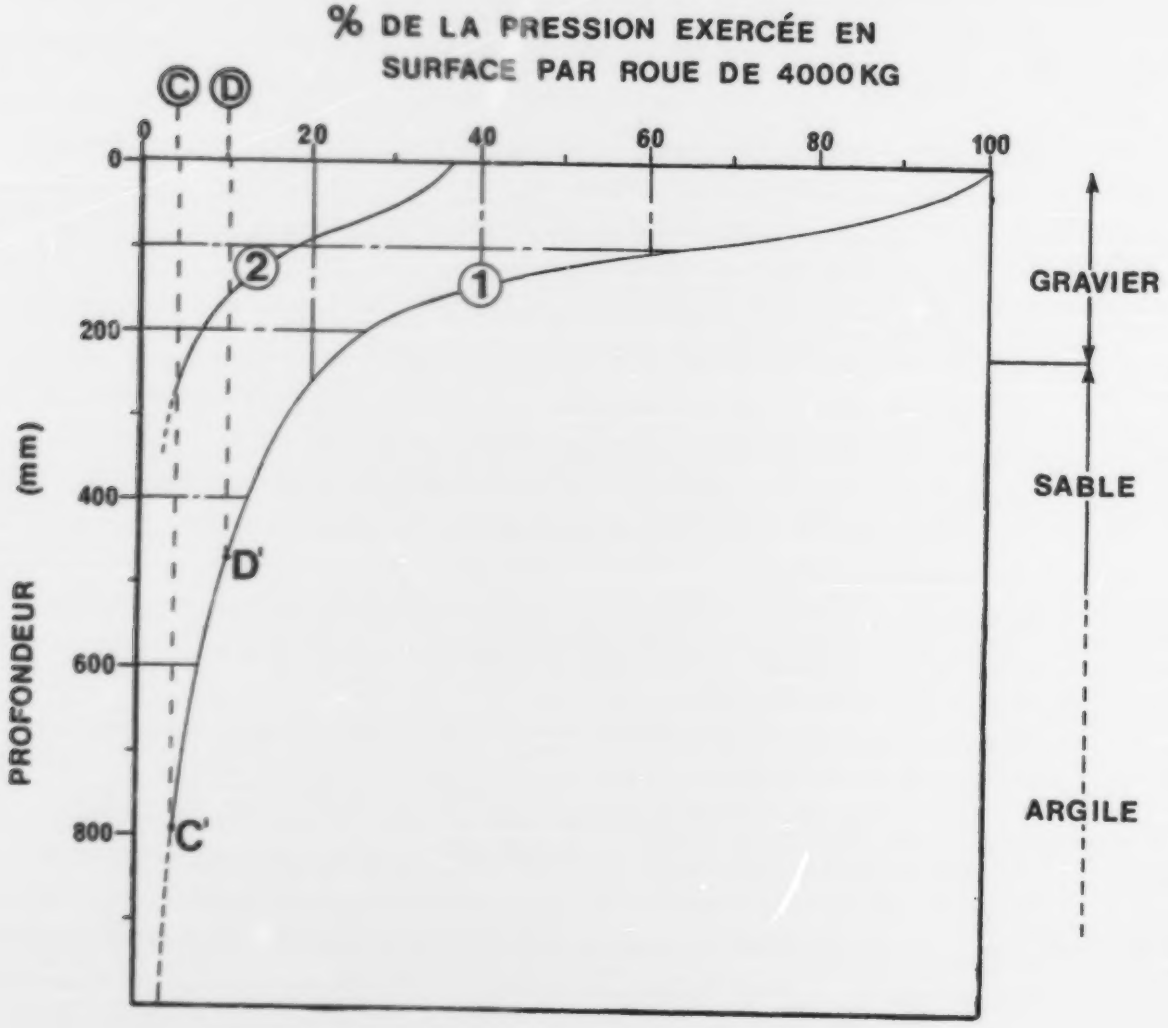



**FIGURE 1** - Pression transmise à diverses profondeurs par:

- Une roue double de 4 000 kg (courbe 1) munie de pneus gonflés à 560 kPa (80 psi) et reposant sur 225 mm de gravier et une sous-fondation de sable (calcul selon Burmister, réf. 12, p. 41).
- Une roue d'automobile de 410 kg munie d'un pneu gonflé à 205 kPa (30 psi) et reposant sur les mêmes matériaux.

2.2.3 Une réduction des épaisseurs de chaussées peut difficilement être envisagée à l'étape du dimensionnement si les travaux sur le chantier ne se déroulent pas selon les critères envisagés au départ par le concepteur et si une attention spéciale n'est pas réservée à la préparation de l'infrastructure. Il faut noter que la chaussée a normalement une épaisseur juste suffisante pour réduire les contraintes au niveau de l'infrastructure à une valeur ne dépassant pas la résistance de cette infrastructure. Une erreur dans l'évaluation de cette résistance peut donc entraîner des conséquences néfastes sur le comportement ultérieur de la chaussée ou conduire à des surdimensionnements coûteux.

La figure 1 indique, par exemple, qu'à une infrastructure de résistance "C" correspond une épaisseur minimale de chaussée de 800 mm (point C'). Si, grâce à l'apport d'un sol de meilleure qualité que celui de l'infrastructure (pas nécessairement un emprunt A) et à un compactage vigoureux, cette résistance est portée au niveau "D", l'épaisseur requise de matériau granulaire n'est plus que de 480 mm (point D'). Inversement, si, après avoir prévu une épaisseur de chaussée de 480 mm, l'entrepreneur néglige de corriger certains points faibles le long du parcours ou s'il ne prend pas suffisamment de soins pour éliminer les ornières et autres dépressions susceptibles de retenir les eaux d'infiltration, il s'ensuivra une hausse de la teneur en eau de l'infrastructure, un affaiblissement de cette dernière et un sous-dimensionnement qui pourrait être désastreux pour l'ensemble de la structure.

Pour toutes ces raisons, l'article 26.13.1 du Cahier des charges (édition 1986) concernant la préparation de l'infrastructure doit toujours s'appliquer avec rigueur, particulièrement en terrain argileux ou silteux.

Si le respect de cette exigence s'avère difficile, il faut, soit attendre que le sol de support ait suffisamment séché pour pouvoir le profiler et le densifier, soit le stabiliser à la chaux (cas des argiles), soit enfin le recouvrir d'un sol fin (emprunt ou déblai) plus facilement compactable et apte à assurer une meilleure capacité de support que le terrain naturel sous-jacent. Cette dernière option devrait d'ailleurs être envisagée chaque fois que les économies qu'elle permet de réaliser grâce à des épaisseurs réduites des couches de chaussées, à un meilleur respect des exigences du Cahier des charges (niveau de compactage de la partie supérieure de l'infrastructure et de la sous-fondation, surface régulière de l'infrastructure, etc.) et à un meilleur comportement anticipé de la route, s'avèrent supérieures aux coûts qu'elle engendre au moment de la construction. Remarquons qu'à la condition de pouvoir évaluer la portance de l'infrastructure avec une certaine précision, il est possible, grâce à la figure 1, de déterminer si les coûts associés à une certaine amélioration du sol de support se traduiront par des économies comparables au niveau de la chaussée. Il s'agit là d'un aspect sans doute trop négligé lors de la préparation de plusieurs projets routiers.

On retiendra que c'est au niveau de l'infrastructure que se joue majoritairement la validité des hypothèses faites par le concepteur

lors de la préparation d'un projet. C'est aussi grâce à une infrastructure bien profilée, homogène sur le plan horizontal et suffisamment forte, que la sous-fondation peut être compactée au niveau désiré, sans danger de contamination, et que les pertes prématurées de qualité de roulement résultant, tantôt de tassements différentiels, tantôt de soulèvements par le gel, peuvent par la suite être amoindries.

2.2.4 Sous les roues d'une automobile, les contraintes verticales générées à une profondeur donnée sont sensiblement égales à celles produites sous une roue de 4000 kg à une profondeur presque trois fois plus élevée (fig. 1). Il est donc permis de conclure que du seul point de vue de la capacité de support, une route fréquentée uniquement par des automobiles pourrait, dans bien des cas, être presque trois fois moins épaisse qu'une route soumise au même nombre de poids lourds.

## 2.3 Recherche de la structure appropriée

La figure 1 indique qu'à une profondeur d'environ 250 mm (courbe 1) la contrainte devient cinq fois plus faible qu'en surface. Cela signifie qu'à partir de ce niveau, l'emploi d'un sable au lieu d'un gravier devrait suffire puisque la résistance (C.B.R.) du sable est environ cinq fois plus faible que celle du gravier. Il est donc permis d'affirmer que pour une telle épaisseur de fondation supérieure (250 mm), la chaussée est très bien équilibrée, en ce sens que la tendance à l'instabilité ou au fluage sous une charge statique de 4000 kg est à peu près la même au niveau du sable qu'à celui du gravier. Une

augmentation de l'épaisseur du gravier apporterait donc très peu à l'ensemble de la structure puisque la même contrainte persisterait au contact pneu-gravier et y produirait la même déformation. Par contre, une diminution de cette épaisseur pourrait s'avérer possible, surtout si l'on tient compte des facteurs suivants:

**2.3.1** Les charges imposées par le trafic sont dynamiques, de très faible durée et n'occasionnent pas de déflexions aussi prononcées que les charges statiques. Les contraintes qu'elles génèrent dimimuent donc plus rapidement, en profondeur, que ne l'indique la figure 1. Ce sont, en quelque sorte, des chocs assez forts en surface mais qui s'atténuent rapidement en profondeur.

**2.3.2** Il est permis d'allouer une déformation permanente plus forte sous chaque charge à la condition que ces charges soient peu nombreuses dans la vie de la chaussée. Or, il est connu que sur plusieurs routes locales, le pourcentage d'essieux dont le poids avoisine la charge maximale permise est faible.

**2.3.3** À mesure que diminue l'épaisseur du gravier, le danger de déformation permanente de la partie supérieure du sable s'accroît (figure 1). Il est donc normal d'assumer que si ce sable est placé au-dessus d'un certain niveau critique, il subira une déformation permanente. Cette déformation sera cependant moins préjudiciable à l'ensemble de la chaussée - du moins dans le cas d'une route pavée - qu'elle ne le serait si elle survenait immédiatement sous le revêtement. Pour cette raison, il est préférable, surtout si l'on veut mettre l'accent sur l'économie et si le gravier est beaucoup plus coûteux que le sable, de réduire la couche de gravier, même au risque de provoquer une certaine

instabilité au niveau du sable, mais de se montrer toujours très exigeant sur la qualité du gravier.

2.3.4 Le sable qui repose dans une chaussée à une certaine distance de la surface se trouve dans un état de confinement supérieur à celui du sable qui est soumis à un essai C.B.R. en laboratoire. Il résiste donc mieux que ce dernier à une contrainte verticale donnée.

## 2.4 Structure de chaussée retenue

2.4.1 **Routes non revêtues** - Les considérations précitées permettent de conclure qu'il peut être très acceptable de n'avoir recours, sur les routes locales, qu'à environ 150 mm de gravier au-dessus du sable (tableau I). En jetant un coup d'oeil sur les pratiques suivies dans diverses provinces canadiennes (réf. 6, 8 et 11), on constate d'ailleurs que plusieurs d'entre elles font preuve de beaucoup de parcimonie dans la construction des routes à faible trafic. En général, les épaisseurs qu'elles proposent pour un type de sol, un trafic et une classe de route donnés sont cependant revisées à chaque projet pour tenir compte des particularités environnementales possibles ou des caractéristiques structurales mesurées sur les matériaux réellement utilisés sur le chantier.

À ce sujet, on retiendra que si le sable est uniforme, fin, difficile à densifier et donc de faible résistance, la couche de gravier devra être augmentée de 25 ou 30 mm. Si, au contraire, il affiche une granularité étalée et donne lieu à une densité élevée, la couche pourra être réduite de la même façon. Pour les fins du présent document, il a cependant été jugé que l'épaisseur minimale admissible pour la fondation supérieure était de 150 mm.

TABLEAU I - Epaisseurs (mm) de fondation (en granulat 0-20) et de sous-fondation (en granulat de classe A) en regard du trafic et de la nature de l'infrastructure.

| Camions /jour /voie | Couche | Nature de l'infrastructure | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Rem-blai | Dé-blai | Roc | Granulat Classe A | GW-GM SW-SM | GM, GC | SM, SC | ML, CL, OL [2] MH, OH [2], CH |
| 0 à 5 | Fondation | x | | 200 | ← 150-180 [3] → | | | | |
| | Sous-fond. | x | | Nil [4] | Nil [1] | 150 | 300 | 350 | 400 |
| | Fondation | | x | 200 | ← 150-180 [3] → | | | | |
| | Sous-fond. | | x | Nil [4] | Nil [1] | 250 | 400 | 450 | 500 |
| 5 à 15 | Fondation | x | | 250 | ← 150-200 [3] → | | | | |
| | Sous-fond. | x | | Nil [4] | Nil [1] | 200 | 350 | 400 | 450 |
| | Fondation | | x | 250 | ← 150-200 [3] → | | | | |
| | Sous-fond. | | x | Nil [4] | Nil [1] | 300 | 450 | 500 | 550 |
| 15 à 40 | Fondation | x | | 250 | ← 160-220 [3] → | | | | |
| | Sous-fond. | x | | Nil [4] | Nil [1] | 250 | 350 | 400 | 450 |
| | Fondation | | x | 250 | ← 160-220 [3] → | | | | |
| | Sous-fond. | | x | Nil [4] | Nil [1] | 350 | 450 | 500 | 550 |

[1] : La partie supérieure de l'infrastructure sert de sous-fondation après avoir été scarifiée sur une épaisseur de 250 mm, homogénéisée et finalement densifiée à 95% du "Proctor modifié".

[2] : Les sols organiques OL et OH requièrent souvent des études spéciales.

[3] : Voir article 2.4.1.

[4] : Pour éviter que le 0-20 ne pénètre dans le roc dynamité sous-jacent, une couche de 0-150, fabriquée à partir de pierre dynamitée doit être placée à la partie supérieure du remblai (C.C.D.G.-26.10.4) et également au-dessus de la ligne d'infrastructure (décrite à l'article 26.04.2-b du C.C.D.G.) dans les déblais. Cette couche sert alors de sous-fondation.

En outre, si les camions qui circulent sur un chemin donné affichent des charges axiales moyennes particulièrement élevées (camions de gravier affectés à la construction d'une route, camions de bois, etc.) ou ont plus d'essieux que ne le veut la coutume sur le réseau tertiaire, il faut accroître légèrement (< 50 mm) les épaisseurs de fondation prévues au tableau I.

Pour ce qui est de la sous-fondation, son épaisseur dépend essentiellement de la portance de l'infrastructure, laquelle peut être évaluée au moyen de différents essais tels que: l'essai C.B.R., l'essai de plaque, la détermination de la valeur R, la détermination du module de résilience, etc..

De plus, dans les régions de gel, les résultats ainsi obtenus doivent être pondérés pour représenter les conditions qui prévalent en période de dégel. Cette pondération est cependant susceptible d'imprécision puisqu'elle fait intervenir des facteurs variables dans le temps ou dans l'espace. Ce sont notamment: la nature du sol, plus particulièrement son degré de gélivité, la profondeur de la nappe phréatique, la qualité du drainage, etc..

Au Ministère, cette portance est évaluée au moyen des données géotechniques recueillies au cours d'une étude de reconnaissance de tracé. Les épaisseurs de sous-fondation énumérées au tableau I ont donc été déterminées par une méthode analogue à celle mentionnée à la norme 3.3.1.2 du Ministère. Quant à celles du gravier, elles découvrent des considérations mentionnées plus haut au présent article (2.4.1) de même qu'au paragraphe 2.3.

Remarquons enfin qu'un léger sous-dimensionnement au niveau des couches granulaires aura très peu de conséquences si la route demeure non revêtue, car il n'y aura alors aucun danger de fissuration et un renforcement éventuel pourra toujours être appliqué par la simple pose d'une couche de gravier supplémentaire.

Le seul inconvénient d'un tel sous-dimensionnement initial - mis à part le fait d'avoir à intervenir deux fois dans la vie de la chaussée - est que l'on obtient, après renforcement, une structure dont la proportion de gravier par rapport à celle du sable est exagérée, ce qui risque d'occasionner certains frais.

2.4.2 **Routes revêtues** - Les conséquences d'un sous-dimensionnement sont plus importantes dans le cas des routes que l'on prévoit revêtir, puisqu'elles se traduisent alors par une fissuration prématurée, laquelle constitue, par la suite, un obstacle à la bonne performance des recouvrements ultérieurs. Pour cette raison, et aussi parce que les structures proposées dans le présent document sont déjà largement réduites par rapport à celles qui ont été utilisées jusqu'à maintenant, il paraît préférable de ne pas invoquer la présence d'un revêtement pour justifier des épaisseurs réduites de fondation et de sous-fondation.

2.4.3 **Réhabilitation** - Les pages qui précèdent concernent les chaussées neuves. Lorsqu'il s'agit de chaussées à rénover, les problèmes se présentent sous un angle différent puisqu'on ne dipose pas alors d'une étude pédologique décrivant la nature de l'infrastructure et la composition de la chaussée existante. On pourrait donc être porté à

vouloir obtenir par sondage les données manquantes et déterminer ensuite ce qui devrait être ajouté à la chaussée pour la rendre conforme au tableau I. Une telle façon de procéder est cependant longue, coûteuse et difficile en raison surtout des variations de toutes sortes qui existent fréquemment le long d'un tronçon. Il est donc préférable de suivre la méthode décrite ci-après, laquelle ne constitue toutefois qu'un minimum lorsque les travaux envisagés incluent la pose d'un revêtement. Elle comprend les étapes suivantes:

a) Exécution d'un relevé visuel de la chaussée à la fin de l'hiver qui précède la pose du pavage afin de localiser les sites de soulèvements différentiels qui requièrent des interventions;

b) Correction de ces sites, s'il y a lieu, selon les recommandations de l'annexe A;

c) Exécution d'un relevé de portance (Benkelman ou Dynaflect) au cours de l'été afin de déterminer si la route requiert un renforcement avant pavage;

d) Échantillonnage de la couche de roulement en gravier afin d'en connaître la granularité. Si, malgré une portance satisfaisante (Benkelman ou Dynaflect), la couche s'avère non conforme au calibre 0-20, il faut scarifier sur une épaisseur minimum de 100 mm, profiler à nouveau, densifier conformément aux exigences du Cahier des charges et ajouter une couche de 0-20, d'épaisseur proportionnée à la qualité du gravier sous-jacent mais généralement comprise entre 50 et 125 mm;

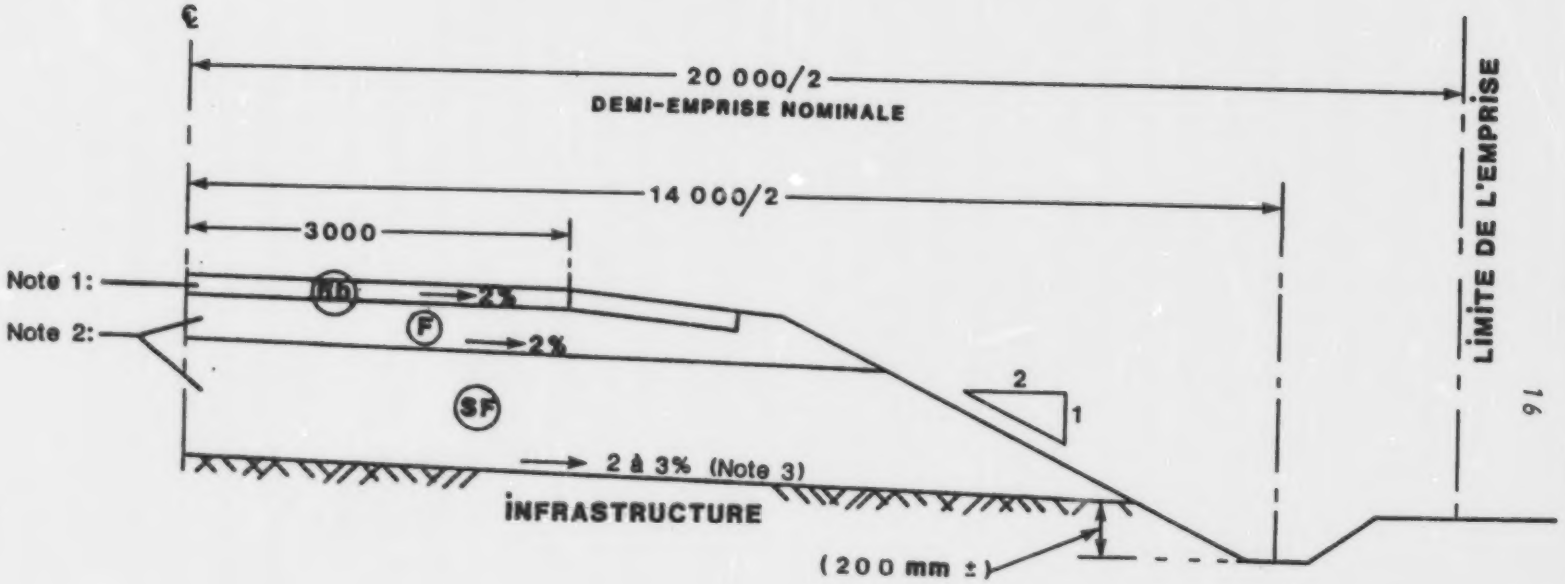
e) Si la chaussée requiert un renforcement supérieur aux épaisseurs de granulat 0-20 indiquées au tableau I, il est permis de substituer l'excédent d'épaisseur par du sable à la base du renforcement ou encore - si la route doit être pavée - par une partie ou par la totalité du revêtement bitumineux. Dans l'un et l'autre cas, cette substitution doit tenir compte des critères suivants:

10 mm de granulat 0-20 = 15 mm de sable de classe A,
= 6 mm de revêtement à froid,
= 5 mm de revêtement à chaud.

La construction du renforcement doit en outre être précédée d'une scarification et d'un profilage de l'ancienne chaussée de la façon indiquée en "d".

f) Les fossés doivent, dans la mesure du possible, se rapprocher des exigences de la figure 2. Si, par suite d'une emprise limitée, il paraît impossible d'obtenir un drainage satisfaisant à ciel ouvert, il faut envisager la possibilité d'avoir recours, sur au moins un côté de la route, à un fossé juste assez profond pour capter les eaux de ruissellement et seconder ce fossé par un drain perforé souterrain placé à la partie supérieure de l'infrastructure, sous la bordure extérieure de l'accotement.

2.4.4 **Réhabilitation Vs reconstruction** - La méthode décrite au paragraphe précédent engendre généralement des coûts beaucoup moins considérables qu'une reconstruction complète. Elle ne convient toutefois pas à toutes les situations et, de toute évidence, pas à celles qui impliquent des modifications importantes au tracé ou au profil en long. De




**Note 1:** Revêtement si exigé au devis spécial.

**Note 2:** Les épaisseurs de ces couches sont celles indiquées au tableau I.

**Note 3:** En terrain silteux ou argileux, une pente latérale un peu plus accentuée est préférable.

FIGURE 2 - Structure de chaussée souple pour routes locales en milieu rural.

là, découle l'importance de s'assurer au départ que de telles modifications sont vraiment nécessaires. Affirmer en effet qu'une route doit être reconstruite parce qu'elle n'est pas conforme à certaines normes peut, dans plusieurs cas, constituer une solution de facilité pour le concepteur et cacher une bonne part de la vérité. En effet, nombreux sont les tronçons non conformes aux normes du Ministère, qui doivent demeurer inchangés pendant de nombreuses années, faute de ressources. Par conséquent, au lieu de s'arrêter à la notion de conformité ou de non-conformité, il semble préférable de viser une utilisation optimale des budgets disponibles en s'interrogeant sur l'ampleur ou l'importance des lacunes observées, sur les coûts associés à leur élimination et sur une étude coût/bénéfice au moins sommaire de diverses interventions possibles.

Il s'agit là d'une tâche difficile qui ne peut être laissée à un personnel inexpérimenté. Elle ne devrait pas non plus être le fruit d'une décision purement locale sans appui d'aucune sorte sur une politique plus large dite de gestion routière, qui découlerait du consensus de plusieurs intervenants. En l'absence d'une telle politique, le processus décrit ci-après paraît cependant susceptible de conduire à une prise de décision suffisamment éclairée:

- Conduite d'une étude structurale du tronçon à rénover selon la méthode décrite au paragraphe 2.4.3;

- Détermination d'un mode de réhabilitation pour chaque secteur ayant ses caractéristiques structurales propres et différentes des secteurs adjacents;

- Évaluation des coûts pertinents à chaque secteur;

- Comparaison de ces coûts à ceux d'une reconstruction;

- Détermination si la différence de coût notée justifie la reconstruction du secteur concerné;

- Extension de l'étude à tous les secteurs compris dans le tronçon étudié;

- Détermination des modes de rénovation pour l'ensemble du tronçon.

## 3. LES REVÊTEMENTS

### 3.1 Doit-on paver?

Il faut bien se remémorer au départ que le présent document concerne avant tout les routes ou chemins du réseau tertiaire. Il n'est donc pas exclu que certaines d'entre elles, et même celles nouvellement construites, demeurent au gravier. Il a déjà été démontré en effet (réf. 9) que la pose d'un revêtement à chaud ne peut se justifier au plan économique que si le trafic est supérieur à 300 véhicules par jour environ. Dans le cas d'un traitement de surface, ou de tout autre revêtement à froid dont le coût et la durée sont comparables au traitement, il semblerait que ce seuil puisse être abaissé à environ 150.

Les facteurs strictement économiques ne sont toutefois pas les seuls à devoir être considérés; il faut aussi tenir compte des aspects suivants:

- La présence ou non d'habitations dans le voisinage immédiat de la route;
- La nature du trafic, notamment en ce qui concerne sa vitesse et le fait qu'il soit de transit ou de type purement local;
- L'importance de protéger certaines cultures contre la poussière;
- La sécurité du public voyageur;
- L'efficacité et le coût des alternatives disponibles pour faire face au problème de la poussière ($CaCl_2$ et huile) ou pour stabiliser une couche de roulement ($CaCl_2$ dans le cas de gravier argileux).

Il est probable que tous ces facteurs puissent être mieux évalués au niveau local et que la décision de paver ou non un chemin donné doive préférablement être celle du Bureau régional concerné. Cette décision devrait cependant avoir été prise à la lumière des critères mentionnés plus haut. De plus, on devrait garder à l'esprit que, faute de ressources, beaucoup de routes à faible trafic demeureront au gravier, qu'un certain nombre pourront bénéficier d'un revêtement à froid mais que très peu se verront octroyer un revêtement à chaud.

## 3.2 Revêtements à froid

Pour bien comprendre la signification du terme "revêtement à froid", il faut savoir au départ qu'il s'oppose à "revêtement à chaud" et qu'il englobe plusieurs types de revêtements bitumineux dont la fabrication n'exige pas que le granulat soit chauffé. Un tel procédé est rendu possible grâce à l'incorporation d'un solvant (cas des "cutbakcs") ou d'un dispersant (cas des émulsions), qui permet au bitume de demeurer liquide même au contact d'un granulat froid. Il peut donc être imprégné dans le granulat (traitements de surface, bitumacadams) ou être malaxé avec lui (enrobés à l'émulsion).

Il n'en va pas de même lorsque le liant est un bitume à l'état pur. Ce dernier étant solide à la température normale, il ne peut être mélangé intimement au granulat sans chauffage préalable des deux constituants et donne alors naissance à ce qu'il est convenu d'appeler un enrobé à chaud. L'enrobage est également possible après chauffage du seul granulat, mais à la condition d'avoir recours au procédé de moussage du bitume. Le produit obtenu est alors désigné sous le terme de "enrobé au bitume moussé".

Dans les pages qui suivent, il sera question des revêtements à froid les plus couramment utilisés au Québec dans le passé, à savoir: les traitements de surface (par. 4), les enrobés denses à l'émulsion (par. 5) et les enrobés au bitume moussé (par. 6).

## 4. LE TRAITEMENT DE SURFACE

### 4.1 Définition

Le traitement de surface, aussi appelé enduit superficiel ou enduit d'usure, est obtenu par la pose d'une couche d'émulsion qu'on recouvre immédiatement de pierre concassée de grosseur uniforme. Celle-ci est ensuite cylindrée et enfoncée dans l'émulsion sous-jacente (figure 3). Le procédé peut être répété en utilisant des granulats qui sont progressivement plus petits vers le haut. On obtient ainsi, selon le cas, des traitements simples (enduits monocouches), des traitements doubles (enduits bicouches) ou des traitements triples (enduits tricouches).

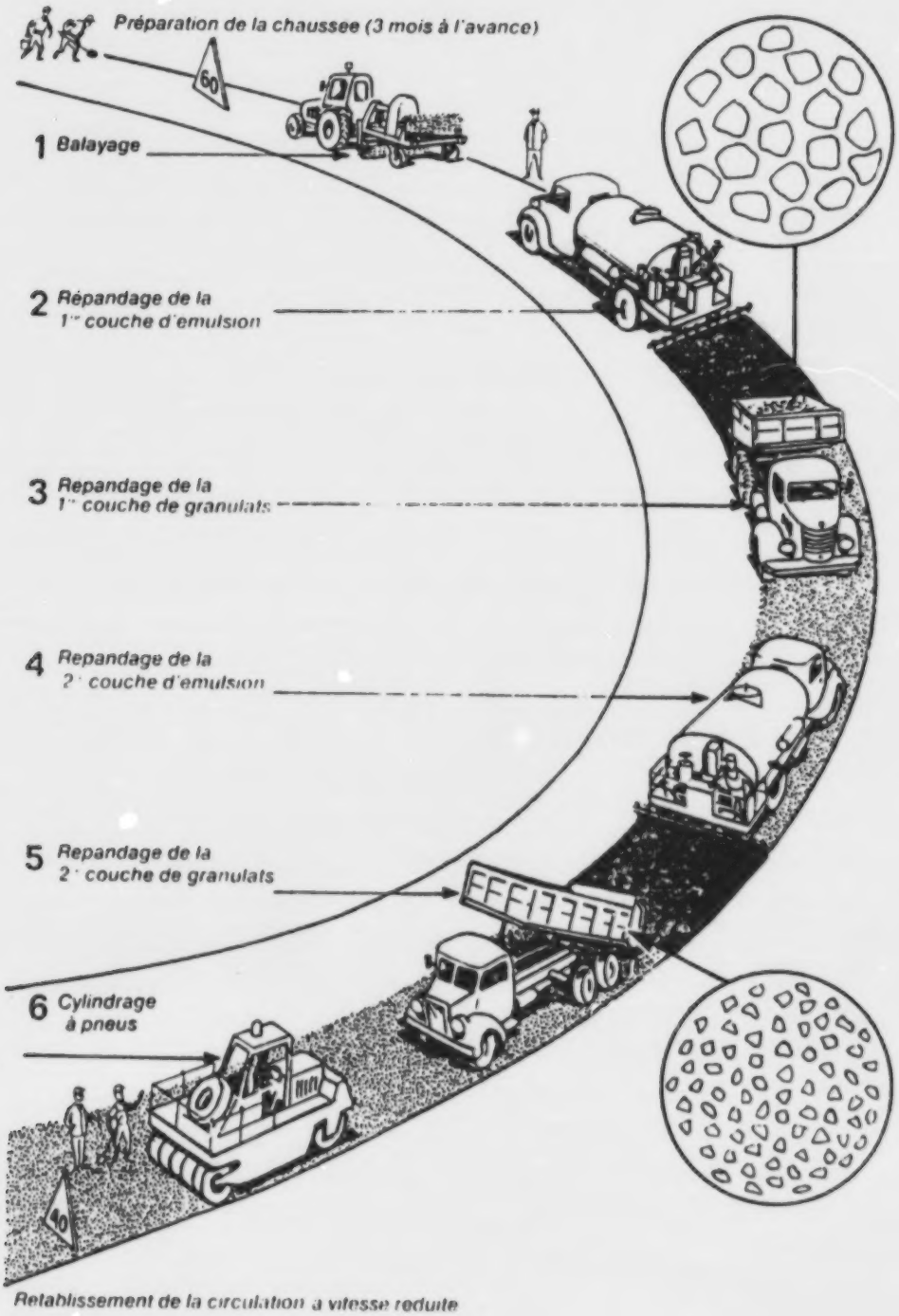



FIGURE 3 - Étapes de fabrication d'un traitement de surface double (réf. 11).

Jusqu'à maintenant, le Ministère s'est généralement contenté des traitements simples et des traitements doubles. Dans quelques cas cependant, il a eu recours à des traitements triples et le résultat a été très bon. On appliquait alors un traitement double servant de couche de roulement pendant environ deux ans. Au cours de cette période, il se produisait un certain rejet ou arrachement de quelques particules, principalement de celles faiblement enchâssées dans la couche bitumineuse sous-jacente. Cet arrachement se traduisait par une augmentation de la rugosité et donc par l'émergence en surface de pierres plus ou moins grosses, sans doute assez bien ancrées à leur base mais en saillie et donc en danger d'être éjectées à leur tour par le trafic.

La troisième couche posée tôt en saison une couple d'années plus tard, en utilisant une pierre plus petite, venait renchausser les particules en danger d'être éjectées et donner à la surface un aspect plus attrayant et plus durable.

## 4.2 Modes d'emploi

**4.2.1 Traitement simple** - Le traitement de surface simple convient bien aux routes à faible trafic pour les fins suivantes:

- Assurer une couche de protection imperméable à un vieux revêtement qui commence à se désagréger et à fendiller;

- Obvier aux faiblesses ou dégradations causées par l'oxydation, l'arrachement ou l'usure superficielle d'une vieille couche de roulement;

- Protéger et renforcer la surface d'un enrobé dense à froid qui a été fabriqué à partir d'agrégats marginaux ou encore qui a été endommagé prématurément ou qui risque de l'être, soit par un trafic intense, soit par un trafic qui génère beaucoup de contraintes tangentielles (courbes, zones d'accélération et de décélération, etc.).

4.2.2 **Traitement double** - À l'exception des cas précités, le traitement double est généralement plus avantageux que le traitement simple puisque, bien effectué, il dure environ trois fois plus longtemps alors que son prix n'est qu'environ 50% plus élevé (réf. 1, p. 43).

Même si les prescriptions précitées s'appliquent aussi bien aux revêtements posés sur une couche bitumineuse qu'à ceux qui reposent sur une base granulaire, il n'en demeure pas moins que c'est sur une base granulaire que le traitement double a été le plus apprécié dans le passé. Il constitue alors sans aucun doute le revêtement à froid le plus utilisé sur les routes à faible trafic. Il est peu enclin à la fissuration et dans bien des cas, il s'est avéré le moins coûteux. Il requiert cependant un granulat qui, en plus d'être dur et résistant, doit contenir au moins 50% de concassé. De plus, en raison de sa faible épaisseur (à peine 20 mm), il n'a pas la résistance que possède l'enrobé dense après cure et ne contribue pas non plus autant que ce dernier à la portance de la chaussée. Il doit donc de toute nécessité reposer sur une fondation forte, bien compactée, bien drainée et de granularité conforme aux exigences du calibre 0-20.

Retenons enfin qu'avant de procéder à la pose d'un traitement de surface, il est important de s'assurer que:

a) L'émulsion et le granulat sont compatibles;

b) Le granulat est exempt de poussières ou autres impuretés qui risqueraient d'entraver l'adhésion du bitume à la pierre;

c) Les travaux se dérouleront dans des conditions climatiques favorables, c'est-à-dire, sèches et chaudes. En effet, les émulsions tolèrent moins bien les mises en oeuvre par température fraîche que les "cutbacks" utilisés il y a quelques années (réf. 1, p. 42);

d) La pose sur la route s'effectuera suffisamment tôt en saison pour que le revêtement bénéficie d'une cure d'au moins un mois de temps chaud.

## 5. L'ENROBÉ À L'ÉMULSION

### 5.1 Analogies avec l'enrobé à chaud

Quelques notions considérées très fondamentales dans les enrobés à chaud s'appliquent également aux enrobés à froid mais selon des modalités un peu différentes. Il importe de bien comprendre ces analogies entre les deux types de revêtements étant donné que les premiers sont mieux connus que les seconds tant au point de vue de leur mode de fabrication que de leurs propriétés ou de leur comportement dans le temps. Elles sont les suivantes:

5.1.1 Les mélanges à chaud sont fabriqués à la température pour laquelle la viscosité du liant facilite au maximum l'enrobage du granulat. Ils sont en outre densifiés à la température pour laquelle la viscosité paraît la plus propice à l'obtention d'une densité maximale.

Dans le cas des revêtements à froid, on fait varier de façon analogue la viscosité du liant. D'abord en contrôlant l'humidité du granulat de façon à ce que l'enrobage s'effectue le plus facilement possible. Ensuite en laissant évaporer une partie de cette eau afin qu'une fois compacté, le mélange affiche une stabilité et une densité maximales. Pour éviter tout délai, il est cependant préférable de ne pas avoir recours à plus d'eau qu'il ne faut au moment de l'enrobage.

5.1.2 À la suite d'un compactage approprié, le revêtement à chaud acquiert toute sa résistance par simple refroidissement tandis que le revêtement à froid l'acquiert de façon très lente, c'est-à-dire, au fur et à mesure que l'émulsion se rompt et que l'évaporation de sa phase volatile se poursuit. Cette période de cure continue d'ailleurs longtemps après la compaction du mélange. Il s'ensuit qu'afin de pouvoir résister aux contraintes générées par le trafic pendant les premiers jours qui suivent la pose sur la route, un certain nombre de précautions doivent être prises:

- Le trafic doit être léger, à vitesse ralentie et même restreint aux véhicules de promenade s'il y a pluie;
- Le mélange doit avoir été fabriqué à partir d'un granulat qui, même sans son liant, a déjà une bonne résistance mécanique, c'est-à-dire qu'il doit avoir une granularité bien étalée, une teneur en pierre et en concassé toutes deux suffisamment élevées et une teneur en fines ne dépassant pas 8 ou 10% (voir art. 9.2);
- Au moment du compactage, la phase fluide du mélange doit être suffisamment visqueuse pour procurer une certaine cohésion sans faire obstacle à l'obtention de la densité spécifiée.

5.1.3 Pour obtenir un revêtement durable, il faut viser la plus faible teneur possible en vides, d'où l'importance d'un bon compactage et d'un dosage maximal en bitume résiduel. Toutefois, afin d'éviter tout danger de ressuage, le volume global des diverses phases liquides contenues dans le mélange ne doit guère excéder celui qui serait occupé par le seul bitume dans un mélange à chaud de même granularité. Ces diverses phases liquides sont:

- L'eau contenue dans le granulat avant malaxage;
- La phase volatile du liant;
- Le bitume résiduel du liant.

De là, il est permis de tirer les conclusions suivantes:

a) Il est quasi impossible qu'un enrobé à froid contienne autant de bitume qu'un enrobé à chaud bien proportionné et de même granularité;

b) Le compactage ne doit pas débuter avant que l'évaporation n'ait réduit les diverses phases liquides au volume global maximum mentionné plus haut au présent article, sans quoi, on s'expose à un certain ressuage;

c) L'évaporation qui se poursuit après la pose sur la route traduit l'existance de pores, lesquelles, au départ, sont plus ou moins remplies d'eau. Plus cette eau est abondante au moment du compactage, plus grandes sont les chances d'avoir un revêtement poreux. L'équilibre visé entre le ressuage d'une part et la trop forte porosité ou la trop faible teneur en bitume résiduel d'autre part peut donc, à l'occasion, s'avérer délicat. On y parvient plus facilement lorsque le granulat est constant aux points de vue granularité et teneur en eau et lorsque le matériel utilisé est de bonne qualité, permettant un dosage précis du liant et l'obtention d'un mélange constant et homogène.

## 5.2 Fabrication de l'enrobé à l'émulsion

**5.2.1 Formule de mélange** - Il semble superflu de mentionner que la fabrication d'un enrobé de bonne qualité suppose au départ une bonne formule de mélange. Outre les exigences mentionnées plus bas au paragraphe 9, lesquelles concernent l'entrepreneur, Asphalt Institute (réf. 1, p. 76) énumère un certain nombre de facteurs qui doivent être pris en compte au moment de l'élaboration de la formule de mélange:

a) La compatibilité du granulat avec le liant est plus critique dans le cas d'un enrobé à froid que dans celui d'un enrobé à chaud. La composition minéralogique du granulat peut donc avoir une influence notable sur la performance du revêtement, et ce, sans égard aux résultats obtenus aux autres essais ($MgSO_4$, abrasion Los Angeles, nombre pétrographique, etc.).

b) Il en découle que chaque projet doit toujours être précédé de mélanges d'essais en laboratoire. Ces mélanges doivent en outre être effectués à partir des granulats que l'on se propose d'utiliser sur le chantier.

c) Les essais en laboratoire servent à déterminer:

- Le type et le grade d'émulsion qui conviennent le mieux;

- Le dosage optimal en émulsion, tenant compte de l'eau contenue dans le granulat et de celle qui s'évapore pendant le processus d'aération sur la route;

- La teneur du granulat en eau qui puisse garantir de bonnes conditions d'enrobage sans occasionner de délais indus lors de la pose du revêtement sur la route.

5.2.2 **Malaxage des enrobés** - Le matériel utilisé pour effectuer le malaxage peut avoir une grande influence sur la qualité de l'enrobé. Dans le passé, la niveleuse et le pulvi-malaxeur (fig. 4 et 5 ) ont souvent été utilisés mais pas toujours avec les succès escomptés. En effet, ces engins peuvent difficilement assurer l'homogénéité requise pour la confection des couches de surface tant au point de vue de leur dosage en émulsion qu'à celui de la granularité de leur granulat. Ils ne peuvent pas non plus assurer le respect des exigences de la formule de mélange concernant l'humidité du granulat. On leur préfère donc l'usine automotrice (fig. 6) de type "moto-paver" et surtout la centrale d'enrobage à froid (fig. 7). La première convient aux projets de faibles dimensions surtout si elle est munie des dispositifs requis pour contrôler les proportions des divers constituants. La seconde est préférée pour les projets de grande envergure. On requiert alors qu'elle possède au moins les accessoires suivants: un réservoir à émulsion, des bennes d'entreposage pour les granulats, des dispositifs de contrôle et d'enregistrement des divers ingrédients, un débit-mètre, une rampe d'aspersion pour humidifier les granulats lorsque requis et un malaxeur muni de contrôles qui permettent de varier le temps de malaxage de 5 à 30 secondes (réf. 1, p. 86).

Lorsque l'usine n'est pas munie de telles facilités, il faut au moins s'assurer que le granulat demeure toujours conforme aux exigences du paragraphe 9 et qu'il est suffisamment constant en cours de production pour ne pas obliger à de fréquentes modifications de la teneur en émulsion.

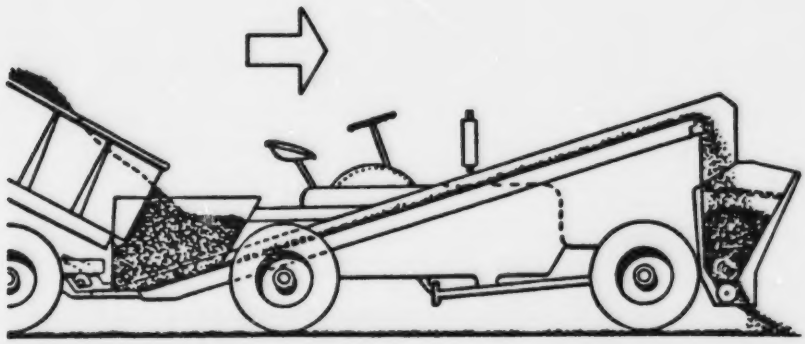


FIGURE 4 - Cheminement du granulat dans une gravillonneuse automotrice servant à la fabrication d'un traitement de surface (réf. 2, p. H-16).

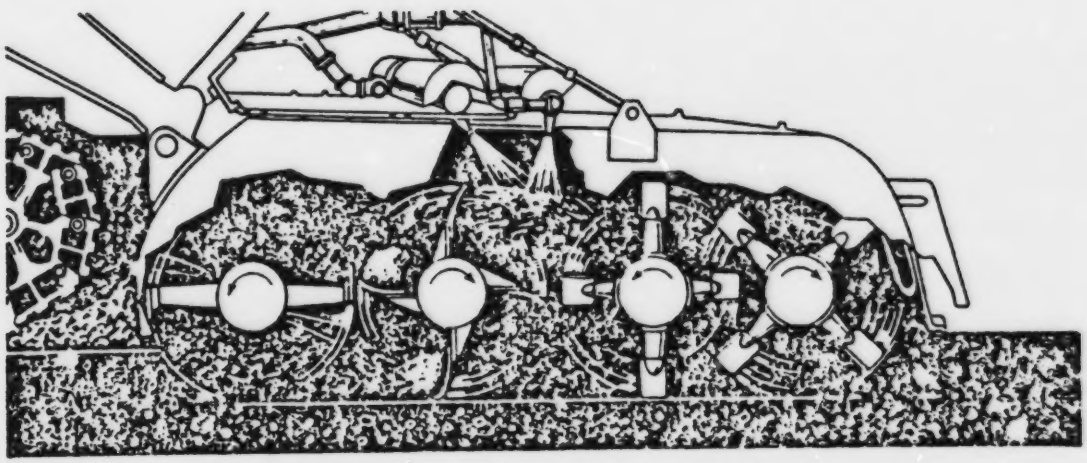


FIGURE 5 - Enrobage des granulats sur la route avec un bitume liquide en utilisant un pulvi-mélangeur multiple (réf. 1, p. 83).

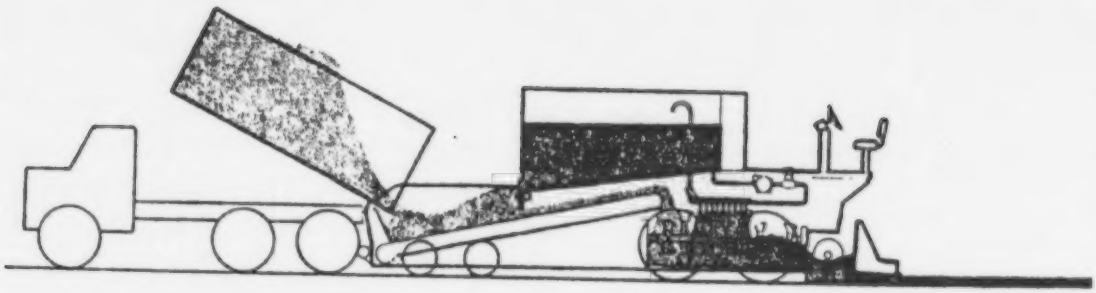


FIGURE 6 - Usine automotrice servant au malaxage à froid du granulat avec un bitume liquide dans un récipient fermé et à sa pose sur la route en une couche uniforme (réf. 1, p. 82).

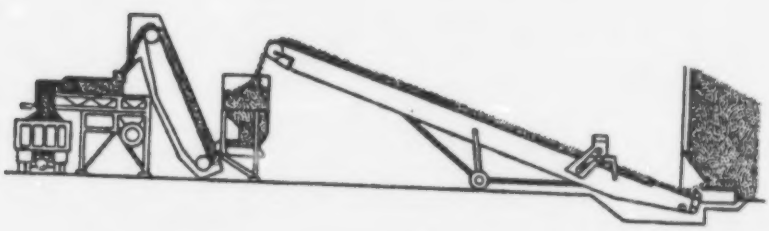


FIGURE 7 - Cheminement du granulat et malaxage de ce dernier avec le bitume liquide dans une centrale d'enrobage à froid (réf. 1, p. 86).

De plus, si un entrepreneur désire avoir recours au procédé à chaud lorsque le procédé à froid était prévu à la demande de soumission, il doit pouvoir le faire aux conditions suivantes:

a) Que le granulat soit conforme aux prescriptions de l'article 9.2 concernant l'enrobé à l'émulsion ou encore à celles du Cahier des charges concernant la fabrication des enrobés à chaud;

b) Que le dosage en bitume ait été approuvé par le Ministère et qu'il ait été déterminé selon la méthode habituelle relative aux enrobés à chaud;

c) Que l'entrepreneur se conforme aux exigences de son contrat concernant le coût des travaux, le contrôle qu'il doit exercer sur la granularité et la teneur en liant et l'emploi éventuel des dispositifs requis pour assurer ces contrôles.

## 6. L'ENROBÉ AU BITUME MOUSSÉ

### 6.1 Historique

De très nombreux tronçons routiers situés dans plusieurs régions du québec ont été revêtus d'enrobés au bitume moussé (foam asphalt) au cours de la période s'échelonnant de 1962 à 1973 environ. Le procédé consistait à introduire de la vapeur d'eau sous une pression d'environ 275 kPa (40 psi) dans un bitume chaud, lui-même comprimé à 140-200 kPa dans un jet spécial. Le bitume était ainsi "moussé" (écumé), ce qui permettait l'enrobage du granulat à froid.

Vers 1970, le procédé a été légèrement modifié en remplaçant la vapeur par 1 à 2% d'eau froide (procédé Mobil) et ce, sans modification apparente de la qualité de l'enrobé.

## 6.2 Fabrication

Le fait que l'enrobé au bitume moussé soit fabriqué à partir d'un bitume pur (ciment asphaltique) au lieu d'une émulsion constitue un avantage économique notable non seulement à l'achat du liant mais également lors du transport de ce dernier de la rafinerie à l'usine d'enrobage.

Mise à part cette particularité du liant, il est permis d'affirmer que la fabrication de l'enrobé au bitume moussé comporte plusieurs similitudes avec celle de l'enrobé à l'émulsion:

**6.2.1** Elle est réalisée avec le même matériel, soit une usine automotrice ou une centrale d'enrobage à froid, moyennant l'ajout à l'une ou à l'autre de jets qui servent à mousser le bitume.

**6.2.2** Les agrégats doivent se conformer aux mêmes exigences, soit celles du paragraphe 9, sauf qu'en ce qui concerne leur granularité, seules les catégories C ou D du tableau II sont acceptables. Certains spécialistes soutiennent même (réf. 10) que la teneur en fines (<75um) devrait être d'au moins 4%.

**6.2.3** Les précautions décrites au paragraphe 5.2.2 au sujet des dispositifs requis pour assurer que la granularité, la teneur en liant et

la teneur en eau demeurent toutes trois constantes en cours de production s'appliquent également. La teneur en eau avant l'enrobage est particulièrement importante et mérite une attention continuelle. En effet, lorsque maintenue à son niveau optimal, elle assure un enrobage plus intime, une meilleure répartition du bitume (moussé) dans la masse de même qu'une densité et une stabilité plus élevées sur la route (réf. 4).

## 6.3 Pose du revêtement

La pose d'un revêtement au bitume moussé ne requiert sans doute pas autant de soin que celle d'un revêtement à l'émulsion, l'aération du mélange et la viscosité optimale du liant au moment du compactage ne suscitant en effet aucun problème. Toutefois, comme dans le cas du mélange à l'émulsion, il est inévitable qu'une quantité appréciable d'humidité demeure dans le mélange au moment du compactage, contribuant ainsi à la porosité du revêtement et ce, quelle que soit la vigueur du compactage et quels qu'aient pu être les soins apportés lors de l'établissement de la formule de mélange pour une teneur maximale en bitume.

L'enrobé au bitume moussé a également une résistance mécanique plus faible que l'enrobé à chaud. Sa maturation doit donc être suffisamment prolongée avant d'être exposé aux rigueurs de l'hiver ou à un trafic intense, ne fut-ce que pendant une brève période. Pour la même raison, l'agrégat qu'il contient doit également être bien gradué et avoir un fort pourcentage de concassé.

## 7. AUTRES REVÊTEMENTS À FROID

En plus des revêtements précités, il en existe quelques autres qui peuvent s'avérer utiles à l'occasion. Étant donné cependant qu'ils ont été peu utilisés jusqu'à maintenant au Québec ou qu'ils ont été plus ou moins mis au rancart pour différentes raisons, nous ne ferons que de brefs commentaires à leur sujet.

7.1 **Les enrobés ouverts** à l'émulsion suscitent beaucoup d'intérêt un peu partout en Amérique du nord depuis quelques années. Ils ont d'abord été utilisés avec beaucoup de succès aux États-Unis par le Service des forêts (U.S. Forest Service) sur des chemins de halage supportant un trafic sans doute lent et peu dense mais très lourd. Quelques tentatives plutôt sporadiques faites au Québec ces dernières années ont de plus été couronnées de succès. L'expérience est cependant encore trop restreinte et trop peu connue pour faire l'objet de recommandations à l'échelle de la province. Il serait nécessaire de réaliser une étude de mise au point du procédé, qui préciserait à la fois le mode d'exécution de ce type de revêtement et les situations auxquelles il conviendrait.

7.2 **Les traitements de surface au gravier** ont peu retenu l'attention du Ministère jusqu'à maintenant. Ils sont pourtant fort populaires auprès de certaines administrations hors du Québec, qui les ont utilisés dans des régions où la pierre concassée faisait défaut. La technique utilisée est la même que celle du traitement de surface simple sauf que la pierre concassée est remplacée par un gravier contenant au moins 50% de gros éléments et que l'émulsion est du type HF (haute flottabilité).

7.3 **Les bitumacadams** (pénétrations) n'ont jamais occupé au Québec la place qui pourrait peut-être leur revenir. Étant donné en effet qu'on peut les fabriquer avec un bitume solide (ciment asphaltique), le problème de mûrissement que posent les revêtements à froid, à cause de notre saison estivale courte, trouverait, dans bien des cas, une solution acceptable. De plus, la grosse pierre qu'ils contiennent serait une garantie contre l'arrachement et donc contre la ruine parfois rapide de certaines couches de roulement mises en place dans des conditions défavorables.

7.4 **Le coulis de scellement (Slurry seal)** est constitué d'environ 82% de criblure (ou de sable et criblure) et 18% d'émulsion auquel on ajoute une quantité d'eau pour en faire un mélange très fluide au moment de la pose (figure 3). En raison de sa faible épaisseur, qui est généralement de 3 à 6 mm, il n'est pas employé directement au-dessus d'une couche granulaire, mais plutôt au-dessus d'une base bitumineuse plus épaisse et plus forte, à laquelle il se trouve pour ainsi dire attaché. Cette base peut être un accotement revêtu qui commence à se dégrader et auquel on veut redonner un aspect de neuf, plus lisse, plus imperméable et plus résistant aux sels et aux agents atmosphériques. Ce peut-être également un enrobé à froid posé quelques semaines auparavant que l'on veut protéger avant la venue de l'hiver.

7.5 **L'enduit à l'émulsion (Fog seal)** utilisé par le Service américain des forêts (U.S. Forest Service) pour imperméabiliser et renforcer la partie supérieure de certains revêtements denses fabriqués à froid constitue une autre technique intéressante. Elle consiste à épandre une émulsion diluée avec 80 à 90% d'eau sur un revêtement mis

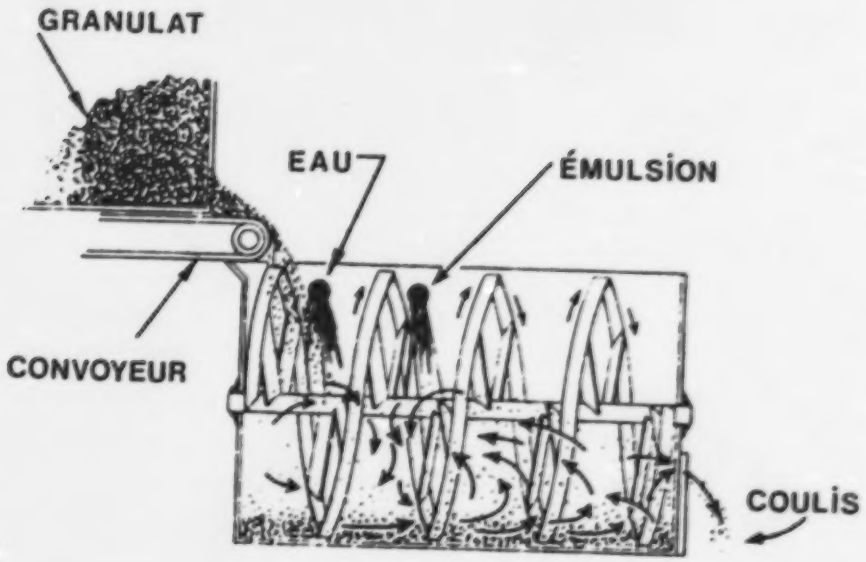



FIGURE 9 - Préparation du coulis de scellement

en place quelques semaines auparavant et ayant subi, au moins en surface, une cure et un séchage au cours desquels une bonne partie de l'humidité qu'il contenait initialement a pu s'échapper. Le procédé peut être répété dès que la couche préalablement posée a séché.

La grande fluidité du mélange d'eau et d'émulsion ainsi appliqué permet au bitume de pénétrer dans les pores du revêtement pour sceller la surface et la rendre plus résistante aux contraintes tangentielles exercées par le trafic.

## 8. ÉVALUATION DES REVÊTEMENTS À FROID

### 8.1 Les avantages

Le seul fait que les revêtements à froid soient fabriqués sans chauffage ni séchage des granulats comporte plusieurs avantages:

a) Il permettent des économies substantielles aux chapitres de la fabrication et du transport, principalement lorsque les travaux de pavage se déroulent loin d'une usine à chaud.

b) Ils peuvent être fabriqués avec un matériel minimum, relativement peu coûteux et facilement transportable.

c) Leur fabrication nécessite moins d'énergie que celle des revêtements conventionnels.

d) Ils contribuent beaucoup moins que ces derniers à la pollution de l'environnement.

## 8.2 Les inconvénients

Les revêtements à froid présentent cependant certains inconvénients qu'on ne peut passer sous silence:

a) Le coût de l'émulsion considéré sur une base de bitume résiduel est plus élevé que celui du bitume solide employé dans les revêtements à chaud. Cet inconvénient ne s'applique cependant pas aux revêtements au bitume moussé, qui sont, eux aussi, fabriqués à partir de bitume solide.

b) Étant donné que le dosage en bitume des enrobés à froid ne peut à toutes fins utiles, atteindre celui des enrobés à chaud (par. 5.1.3) l'épaisseur du film de bitume y est plus mince et la porosité plus élevée. Ces deux facteurs conduisent à une durabilité inférieure et à une résistance plus faible sous l'effet du cisaillement qui se produit à la partie supérieure d'une couche de roulement au passage des véhicules. Le revêtement à froid ne convient donc pas aux couches de roulement soumises à un fort volume de circulation, et encore moins si elles ont été posées sur des routes sinueuses où les contraintes tangentielles sont forcément plus élevées. Il ne convient pas non plus aux routes où il est fait usage de sels déglaçants en hiver.

c) Contrairement aux revêtements à chaud qui acquièrent leur résistance rapidement par simple refroidissement, l'enrobé à froid exige une période de cure avant de pouvoir résister aux rigueurs de l'hiver et doit de ce fait être posé suffisamment tôt en saison. Les premiers jours qui suivent l'ouverture à la circulation sont particulièrement critiques, principalement si les conditions climatiques sont défavorables.

## 9. EXIGENCES

9.1 Les matériaux utilisés dans la confection des enrobés à froid, de même que les méthodes de fabrication et de pose de ces revêtements doivent être conformes aux exigences applicables du Cahier des charges.

TABLEAU II - Exigences des granulats utilisés dans les mélanges à l'émulsion pour couches de roulement (réf. 1, p.89).

| Tamis | Pourcentage passant | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | A | B | C | D | E |
| 50 mm | 100 | — | — | — | — |
| 38 mm | 90-100 | 100 | — | — | — |
| 25 mm | — | 90-100 | 100 | — | — |
| 19,0 mm | 60-80 | — | 90-100 | 100 | — |
| 12,5 mm | — | 60-80 | — | 90-100 | 100 |
| 9,5 mm | — | — | 60-80 | — | 90-100 |
| 4,75 mm | 20-55 | 25-60 | 35-65 | 45-70 | 60-80 |
| 2,36 mm | 10-40 | 15-45 | 20-50 | 25-55 | 35-65 |
| 300 µm | 2-16 | 3-18 | 3-20 | 5-20 | 6-25 |
| 75 µm | 0-5 | 1-7 | 2-8 | 2-9 | 2-10 |

9.2 Le granulat employé dans la confection des enrobés denses à l'émulsion, pour usage en couche de roulement,doit être conforme à l'une ou l'autre des granularités indiquées au tableau II. Toutefois, en ce qui concerne les enrobés au bitume moussé, seules les granularités C ou D sont acceptables (voir aussi article 6.2.2). Dans l'un et l'autre cas, l'agrégat doit en outre satisfaire les exigences suivantes:

- Equivalent de sable : > 35%
- Pertes à l'essai d'abrasion L.A. (500 rév.) : < 40%
- Pourcentage de concassé : > 50%

9.3 En ce qui concerne les traitements de surface doubles ou triples, la grosseur du granulat faisant partie d'une couche autre que la couche inférieure ne doit pas excéder la moitié de celle du granulat contenu dans la couche sous-jacente.

## 10. SOMMAIRE ET CONCLUSIONS

Il serait assez difficile de résumer en quelques paragraphes le contenu du présent document. Ce dernier en effet constitue déjà un exposé assez succint de plusieurs énoncés qui ont été glanés dans les références listées à la fin du présent guide. Il tient compte également de plusieurs expériences vécues au Ministère dans le domaine des revêtements à froid au cours des 12 ou 15 dernières années. Un certain regroupement des idées émises précédemment est cependant possible autour des trois sujets mentionnés ci-après (par. 10.1, 10.2 et 10.3).

**10.1** En ce qui concerne le dimensionnement et la mise en oeuvre des couches granulaires d'une chaussée neuve il faut retenir que:

a) Lorsqu'un matériau de classe A est posé sur une infrastructure gélive et imperméable, c'est-à-dire sur un sol plus ou moins silteux ou argileux, la surface de contact entre les deux matériaux doit être libre d'ornières et avoir une pente régulière vers les fossés (art. 2.2.3).

b) L'épaisseur d'une chaussée varie selon:

- le nombre et le poids des véhicules qui y circulent, les automobiles n'ayant en général qu'une influence assez marginale en ce domaine (art. 2.2.4 et 2.3);

- la nature et la portance de l'infrastructure (art. 2.2.3).

c) Les contraintes verticales produites par le trafic diminuent si rapidement en profondeur qu'à partir de 250 mm, elles n'excèdent guère la résistance d'un sable de classe A (par. 2.3 et 2.4). Plus près de la surface, le matériau utilisé doit être plus fort (C.B.R.), ce qui ne peut s'obtenir que grâce à une granularité bien étalée, une teneur suffisante en gros granulat (40 à 65%), un pourcentage de concassé suffisamment élevé ( 50%) et une teneur en fines ne dépassant pas 8%. Ces exigences sont satisfaites par l'emploi d'un granulat 0-20.

d) Les épaisseurs de sable de classe A et de granulat 0-20 requises pour assurer une portance satisfaisante et une bonne performance à long terme de la chaussée sont celles indiquées au tableau I.

e) Ã moins que des modifications importantes ne doivent être apportées au profil en long ou au tracé, la décision de reconstruire à neuf ne devrait être prise qu'après étude des alternatives possibles selon la méthode proposée au paragraphe 2.4.4.

**10.2** En ce qui concerne les projets de renforcement (réhabilitations), il est recommandé que leur préparation se fasse selon la méthode décrite au paragraphe 2.4.3.

**10.3** Pour ce qui est du revêtement, on retiendra ce qui suit:

a) Il n'est pas nécessaire que toute nouvelle construction ou toute amélioration importante se termine par la pose d'un revêtement. Il semble plutôt, du moins en première approximation, qu'un revêtement à froid ne soit justifié que si le J.M.A. excède 150 environ.

b) Employés comme couche de surface, les revêtements à froid doivent être mis en place tôt en saison (par. 4.2, 6.3 et 8.2-c), c'est-à-dire, avant les premiers jours de septembre environ. Si, pour diverses raisons, il s'avère difficile de se conformer à cette exigence, mieux vaut alors s'en tenir aux revêtements à chaud.

d) De tous les revêtements à froid, le double traitement de surface est sans doute celui qui a été employé avec le plus de succès dans le passé sur des bases granulaires (par. 4.2.2). En raison de sa faible épaisseur (environ 15 à 20 mm), il ne dure peut-être pas aussi longtemps que certains enrobés à froid bien réussis et il ne contribue pas

autant que ces derniers à la capacité de support de la chaussée. Il possède en revanche l'avantage d'être plus facile et plus rapide à poser en plus d'être généralement peu coûteux. Le granulat qu'il requiert peut cependant s'avérer rare dans les régions éloignées.

e) Les enduits très minces tels les traitements de surface simples et les coulis de scellement ne s'appliquent que sur des couches bitumineuses dans les buts suivants (par. 4.2.2):

- Arrêter la dégradation superficielle de la couche et lui donner un aspect de neuf.

- Imperméabiliser un revêtement à froid posé quelques semaines auparavant pour accroître sa résistance aux intempéries.

## Références bibliographiques


1) Asphalt Institute (1979) A Basic Asphalt Emulsion Manual, MS-19, Mars 1979.

2) Asphalt Institute (1973) Asphalt Technology and Construction, ES-1, Janv. 1971.

3) Burmister, Donald M. (1943) The Theory of Stresses and Displacements in Layered Systems and Applications to the Design of Airport Runways, HRB Proc., Vol. 23.

4) Lee, D.Y. (1981) Treating Marginal Aggregates and Soils with Foamed Asphalt, Proc. AAPT, pp. 211-244.

5) Darter, M.I., Ashlfield, Steven R., Patrick L., Devos Alois J., Wasill, Richard G (1979) Design of Emulsified Asphalt-Aggregate Bases for Low-Volume Roads, TRB-702.

6) Hassan, M.U. Et Said, G.M. (1981) Management of Highway Investment in a Low Population Density Environment: The Saskatchewan Endeavour, RTAC Forum, Vol. 4, No 2.

7) Lévêque, J. (1977) La grave-émulsion, Revue générale des routes et des aérodromes, No 544, pp. 24-34.

8) Phang, W.A. (1974) Flexible Pavement Design In Ontario, TRB 512.

9) Richard, Ronald (1984) Evaluation économique du pavage de chemins de gravier à faible volume de circulation; Routes et Transports, AQTR, Vol. 14, No 1.

10) Sakr, Hazen A. et Manke, Phillip G. (1985) Innovations in Oklahoma Foamix Design Procedure, Transportation Research Board, TRR 1034.

11) Syndicat des fabricants d'émulsions routières de bitume (1976) Les émulsions de bitume et leurs applications routières.

12) Yoder, E.J. et Witczak, M.W. (1975) Principles of Pavement Design, pp. 24-77.

13) Young, Fred D. (1982) Manitoba Asphalt Pavement Design Methods, réunion annuelle ARTC.

ANNEXE "A"

# LA PRISE EN COMPTE DU GEL DANS LA RENOVATION DES CHAUSSEES

## A1- INTRODUCTION

Il existe déjà plusieurs méthodes de protection des chaussées contre le gel. La plupart font intervenir, dès l'étape de la conception, diverses considérations reliées à la profondeur du gel, à la nature du sol de support, à la profondeur de la nappe phréatique, etc.. On trouvera ailleurs* une description complète de ces méthodes, qui ont été adoptées avec diverses variantes par plusieurs administrations.

Nous nous limiterons, dans les lignes qui suivent, au cas très concret de l'élimination des soulèvements différentiels produits par le gel pendant la saison hivernale. Nous serons ainsi amenés à parler de profondeur de gel, de la nécessité d'effectuer des transitions entre sols de gélivités différentes et de la façon de réaliser ces transitions. Nous mettons de côté à dessein la méthode qui fait appel aux isolants thermiques, dont la description complète déborderait les cadres du présent document. Le lecteur est donc prié de référer à l'article 35.08 du Cahier des charges sur ce sujet. Un

---

* Joint Departments of the Army and Air Force USA (1985) "Pavement Design for Seasonal Frost Conditions", Technical Manual TM5-818-2/AFM 88-6, Chapter 4.

devis plus détaillé concernant l'isolation des tronçons existants peut également être obtenu à la Division des structures de chaussées du Service des sols et chaussées.

## A2- PROFONDEUR DE GEL

La profondeur de gel dans une région donnée est d'abord et avant tout fonction du climat. Elle est aussi reliée à divers autres facteurs et notamment à la teneur en eau du sol. En effet, s'il faut une certaine "quantité de froid" pour abaisser la température d'un sol sec, il en faut également pour abaisser celle de l'eau contenue dans le sol. Il s'ensuit qu'un sol humide est plus long à refroidir qu'un sol sec. De plus, étant donné qu'une forte "quantité de froid" est également requise pour transformer l'eau en glace, il est permis d'affirmer que l'eau du sol constitue une sorte de barrière à la propagation du gel. Les terrains argileux, qui ont presque toujours de fortes teneurs en eau, seront donc moins pénétrés par le gel que les terrains bien drainés. Il s'agit bien là d'un facteur dont il faut tenir compte lorsqu'on veut déterminer avec précision ce que sera la pénétration du gel dans un lieu donné à partir de profondeurs mesurées dans des terrains de natures différentes ou à partir de données climatiques.

Des corrections semblables sont également requises en terrain montagneux pour tenir compte de l'altitude. C'est ainsi que dans le Parc des Laurentides, la profondeur du gel est supérieure à celle enregistrée dans chacune des régions adjacentes au nord (Saguenay-Lac St-Jean) et au sud (Québec).

D'une façon générale, il sera toutefois satisfaisant d'utiliser en design les profondeurs moyennes mentionnées ci-dessous:

- Extrémité sud-ouest de la province ..... 1250 mm
- Régions de Montréal et Sherbrooke ..... 1350 mm
- Région de Québec ..... 1750 mm
- Régions du Saguenay-Lac St-Jean, de Baie-Comeau & la Gaspésie ..... 1900 mm
- Régions de Val D'Or & Rouyn-Noranda ..... 2100 mm
- Régions de Mistassini, Chibougamau & Parc des Laurentides ..... 2400 mm

## A3- QUAND RÉALISER DES TRANSITIONS

Le soin à apporter à la confection des transitions lors de la construction d'une chaussée nous semble particulièrement rigoureux dans les cas suivants:

- Pistes d'aéroports assez fortement circulées,
- Routes à grand trafic et à circulation rapide,
- Terrains de gélivité variable, notamment les zones de contact entre des sols silteux et des affleurements de roc à surface très irrégulière. De telles masses rocheuses conduisent fréquemment à des conditions de drainage très pauvres. Ceci, lié à des contacts sol/roc fortement inclinés oblige à une excavation complète du sol gélif et au remplacement de celui-ci par un sol granulaire lorsque la partie supérieure du socle rocheux repose dans la couche pénétrée par le gel en hiver.

Dans les trois cas précités, il est évident que l'exécution de transitions selon le procédé applicable de la norme 3.2.5 du Ministère, est de rigueur lors de la construction d'une chaussée neuve.

Cependant, il n'en va pas de même lorsque le but visé est d'éliminer ou simplement de réduire à un niveau acceptable certains soulèvements qui se manifestent en hiver sur les routes déjà construites, qui sont peu fréquentées et dont la circulation est lente ou moyenne. En principe, la solution pourrait alors varier considérablement d'un cas à l'autre. En réalité, on préférera s'en tenir aux quelques cas types décrits ci-après, se souvenant toutefois que s'il y a lieu d'excaver jusque dans l'infrastructure, aussi bien le faire de façon à ce que le résultat soit au moins satisfaisant.

## A4- COMMENT RÉALISER LES TRANSITIONS

Etant donné que les soulèvements différentiels sont pour une bonne part le reflet d'une hétérogénéité de l'infrastructure, leur correction requiert presque nécessairement une homogénéisation de la partie supérieure de l'infrastructure, c'est-à-dire, de la partie qui est pénétrée par le gel en hiver. C'est pourquoi, les excavations requises localement pour corriger certains méfaits du gel doivent être exécutées selon les indications suivantes:

a) Leurs profondeurs mesurées à partir de la surface finie de la route ne doivent jamais, même dans les régions les moins froides de la province, être inférieures à 1000 mm dans le cas des routes

locales et à 1300 mm dans les autres cas. Dans les régions plus froides, elles doivent atteindre au moins les trois quarts de la profondeur de gel pertinente à la région concernée (par. A2) sans toutefois excéder 1400 ou 1800 mm selon qu'il s'agit d'une route à faible ou fort volume de circulation.

b) Les pentes des excavations doivent être régulières et conformes aux normes 3.2.5.1, 3.2.5.2 ou 3.2.5.3 selon le cas qui s'applique. Dans le cas des sols hétérogènes dont les surfaces de contact recoupent l'infrastructure avec un angle prononcé (norme 3.2.5.2), le recours à des pentes 5:1, au lieu de 20:1, est toutefois permis sous la ligne d'infrastructure à la condition que le remblayage soit effectué avec un matériau dont la gélivité (et la teneur en fines) se rapproche de celle du sol présent dans les parois de l'excavation ou avec un mélange des deux sols en présence. On pourra ainsi réutiliser les matériaux d'excavation à la condition qu'ils soient compactables et même si, pour ce faire, on doit les essorer avant de les compacter.

   Au-dessus de l'infrastructure, une pente 1:1 est suffisante.

c) Le remblayage et le compactage des zones ainsi excavées doivent être exécutés selon les exigences du Cahier des charges. De plus, la surface de l'infrastructure, dans ces mêmes zones, doit être bien profilée et les conditions de drainage telles qu'aucune accumulation d'eau ne soit possible et ne favorise la formation de soulèvements différentiels en hiver.